

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-237751

(43)Date of publication of application : 31.08.2001

(51)Int.Cl.

H04B 7/06

H04B 1/04

H04B 1/10

H04B 1/18

H04B 7/08

H04J 3/00

(21)Application number : 2001-003612

(71)Applicant : LUCENT TECHNOLOG INC

(22)Date of filing : 11.01.2001

(72)Inventor : FOSCHINI GERARD JOSEPH  
LOZANO ANGEL  
RASHID-FARROKHI FARROKH  
VALENZUELA REINALDO A

(30)Priority

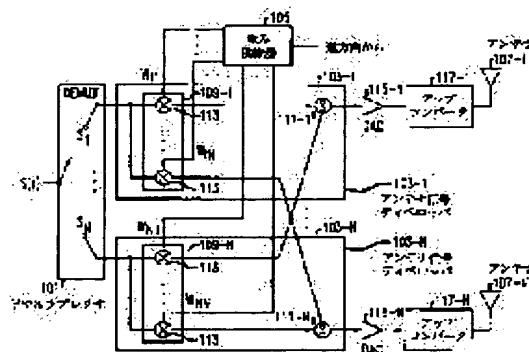
Priority number : 2000 482429 Priority date : 13.01.2000 Priority country : US

## (54) METHOD AND DEVICE FOR TRANSMITTING SIGNAL IN COMMUNICATION SYSTEM AND TRANSMITTER AND RECEIVER USED IN MIMO SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and a device which can process signals to be transmitted from various antenna, for improving the capability of a receiver that extracts these transmitting signals from the received signals, regardless of some correlations in a MIMO system.

SOLUTION: The number of bit streams to be transmitted simultaneously is adjusted and decreased, according to the correlation level, and at the same time plural versions of every bit stream weighted in various ways are transmitted at the same time. These weighted versions are coupled together for generating a single-coupled weighting signal. A receiver processes the received signals, as through all signals arrived at a receiving antenna with no correlation. A weight vector can be decided with a forward channel transmitter, by making use of the channel characteristic of a forward link that is notified to a transmitter of a forward link when the channel characteristic is transmitted from a receiver of a forward link via a transmitter of a reverse link.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-237751  
(P2001-237751A)

(43) 公開日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(51) IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B	7/06	H 0 4 B	7/06
	1/04		1/04
	1/10		1/10
	1/18		1/18
	7/08		7/08
			R
			W
			A
			D

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-3612(P2001-3612)  
(22) 出願日 平成13年1月11日 (2001.1.11)  
(31) 優先権主張番号 09/482429  
(32) 優先日 平成12年1月13日 (2000.1.13)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259  
ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド  
Lucent Technologies  
Inc.  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700  
(74) 代理人 100081053  
弁理士 三俣 弘文

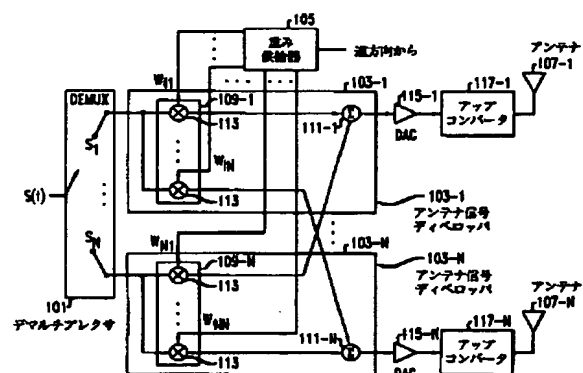
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信システム中で信号を送信するための方法および装置および送信機およびMIMOシステム中  
で使用するための受信機

(57) 【要約】

【課題】 MIMOシステムにおいて、様々なアンテナ  
から送信される信号を、いくつかの相関にも関わらず、  
受信された信号からそれらを抽出する受信機的能力を改  
善するように処理することを可能にする方法および装置  
を提供すること。

【解決手段】 同時に送信されるビットストリームの数  
が、相関のレベルに依存して調節されて減少させられる  
一方、様々な重み付けされた各ビットストリームの複数  
のバージョンが同時に送信される。様々な重み付けされ  
たバージョンは、1つの結合された重み付け信号を生成  
するように結合される。受信機は、相関なしに受信アン  
テナに全ての信号が到達したと同じように、受信された  
信号を処理する。重みベクトルは、逆方向リンクの送信  
機により順方向リンクの受信機から送信されることによ  
り、順方向リンクの送信機に知らされる順方向リンクの  
チャネル特性を使用して、順方向チャネル送信機により  
決定することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 L個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャンネルを介して送信するN個の送信アンテナを備えた送信機および前記受信機から前記送信機へ通信するための逆方向チャンネルを有する通信システム中で信号を送信するための方法であって、前記L個の受信アンテナのうちの2つまたは3つ以上により受信される信号中に相関が存在する可能性があるものにおいて、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数を決定するステップと、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数の各々に対して送信されるべきデータサブストリームを、データストリームから生成するステップと、サブストリームあたりN個の重み付けされたサブストリームを生成するために、1つの重みを前記N個の送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々をN個の重みで重み付けするステップと、前記送信アンテナの各々に対する送信信号を生成するために、前記送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々から生成された前記重み付けされたサブストリームのうちの1つを結合するステップとを有することを特徴とする方法。

【請求項2】 前記送信信号を、前記アンテナの各々1つから送信するステップをさらに有することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記重みを前記逆方向チャンネルにより受信するステップをさらに有することを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項4】 前記重みは、前記逆方向チャンネルを介して前記受信機から受信されたチャンネル情報および干渉共分散の関数として、前記送信機により決定されることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】 前記重みは、行列式 $H^*(K)H=U^* \Lambda^* U$ を解くステップと、連立方程式

$$\tilde{\lambda}^k = \left( \nu - \frac{1}{(\lambda^k)^2} \right)^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を $\nu$ について解くことにより、前記固有値 $\lambda$ をウォーターフリリングするステップと、

$\Phi = U^* \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N) U$ の行列 $\Phi$ を定義するステップと、

その中の前記重みの各々は、

【数2】

$$\sqrt{\tilde{\lambda}^j} z_j$$

であり、jは1からNまでの整数である非正規化された重みベクトル $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iN}]$ を生成するステップとにより決定され、ここで、

Hは、チャンネル応答行列であり、

$H^*$ は、前記チャンネル応答行列Hの共役転置行列であり、

$K^*$ は、干渉共分散行列であり、

Uは、単位行列であり、その各行は、 $H^*(K^*)H$ の固有ベクトルであり、

$\Lambda$ は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N)$ として定義される対角行列であり、

$\lambda^1, \dots, \lambda^N$ は、 $H^*(K^*)H$ の各固有値であり、

Mは、前記独立の信号の数に対応する非ゼロ固有値の最大数であり、

$U^*$ は、行列Uの共役転置行列であり、

kは、1からMまでの整数の指数であり、

pは、送信される電力であり、

+は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、そのアーギュメントが正であるときアーギュメント自体に戻るオペレータであり、

各 $\lambda^j$ は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数であり、

$\text{diag}$ は、様々な $\lambda^j$ が、行列 $\Phi$ の主対角線のエレメントとして配置されることを示し、

行列 $\Phi$ の各列は、 $\Phi = [z_1, \dots, z_M]$ により示される正規化された重みベクトルとして使用され、前記正規化された重みベクトルは、個別の正規化された重み $z_i$ 、 $z_i = [z_{i1}, \dots, z_{iN}]$ からなり、iは1からNまでの整数であることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項6】 L個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャンネルを介して送信するN個の送信アンテナを備えた送信機および前記受信機から前記送信機へ通信するための逆方向チャンネルを有する通信システム中で信号を送信するための装置であって、前記L個の受信アンテナのうちの2つまたは3つ以上により受信される信号中に相関が存在する可能性があるものにおいて、

前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数を決定するための手段と、

前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数の各々に対して送信されるべきデータサブストリームを、データストリームから生成するための手段と、

サブストリームあたりN個の重み付けされたサブストリームを生成するために、1つの重みを前記N個の送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々をN個の重みで重み付けするための手段と、

前記送信アンテナの各々に対する送信信号を生成するために、前記送信アンテナの各々に対して、前記サブス

リームの各々から生成された前記重み付けされたサブストリームの中の1つを結合するための手段とを有することを特徴とする装置。

【請求項7】 L個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャンネルを介して送信するN個の送信アンテナを備えた送信機および前記受信機から前記送信機へ通信するための逆方向チャンネルを有する通信システム中で信号を送信するための装置であって、前記L個の受信アンテナのうちの2つまたは3つ以上により受信される信号中に相関が存在する可能性があるものにおいて、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数を決定するための手段と、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数の各々に対して送信されるべきデータサブストリームを、データストリームから生成するための手段と、サブストリームあたりN個の重み付けされたサブストリームを生成するために、1つの重みを前記N個の送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々をN個の重みで重み付けするための手段と、前記送信アンテナの各々に対する送信信号を生成するために、前記送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々から生成された前記重み付けされたサブストリームの中の1つを結合するための手段とを有することを特徴とする装置。

【請求項8】 前記送信機は、前記重みを生成するための手段を含むことを特徴とする請求項7記載の装置。

【請求項9】 前記送信機は、前記重みを記憶するための手段を含むことを特徴とする請求項7記載の装置。

【請求項10】 前記送信機は、前記重みを生成するための手段を含むことを特徴とする請求項7記載の装置。

【請求項11】 L個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャンネルを介して送信するN個の送信アンテナを備えた送信機および前記受信機から前記送信機へ通信するための逆方向チャンネルを有する通信システム中で信号を送信するための送信機であって、前記L個の受信アンテナのうちの2つまたは3つ以上により受信される信号中に相関が存在する可能性があるものにおいて、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号の数の各々に対して送信されるべきデータサブストリームを、データストリームから生成するためのマルチプレクサと、サブストリームあたりN個の重み付けされたサブストリームを生成するために、1つの重みを前記N個の送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々をN個の重みで重み付けするためのマルチプレクサと、前記送信アンテナの各々に対する送信信号を生成するために、前記送信アンテナの各々に対して、前記サブストリームの各々から生成された前記重み付けされたサブストリームの中の1つを結合するための加算器とを有する

ることを特徴とする送信機。

【請求項12】 前記結合された重み付けサブストリームの各々を変換するためのデジタル/アナログコンバータをさらに有することを特徴とする請求項11記載の送信機。

【請求項13】 前記アナログ変換された結合された重み付けサブストリームの各々を無線周波数に変換するためのアップコンバータをさらに有することを特徴とする請求項11記載の送信機。

【請求項14】 前記重みは、前記逆方向チャンネルを介して前記受信機から受信された順方向チャンネル応答の前記推定値および前記干渉分散行列推定値に応じて、前記送信機において決定されることを特徴とする請求項11記載の送信機。

【請求項15】 前記重みは、前記受信機中で決定され、前記逆方向チャンネルを介して前記送信機に送信されることを特徴とする請求項11記載の送信機。

【請求項16】 前記重みは、行列式 $H^*(K)$   $H=U^* \Lambda^* U$ を解くステップと、連立方程式

【数1】

$$\tilde{\lambda}^k = \left( \nu - \frac{1}{(\lambda^k)^2} \right)^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を $\nu$ について解くことにより、前記固有値 $\lambda$ をウォーターフイリングするステップと、

$\Phi = U^* \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N) U$ の行列 $\Phi$ を定義するステップと、

その中の前記重みの各々は、

【数2】

$$\sqrt{\tilde{\lambda}^j} z_j$$

であり、jは1からNまでの整数である非正規化された重みベクトル $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iN}]$ を生成するステップとにより決定され、ここで、

Hは、チャンネル応答行列であり、

$H^*$ は、前記チャンネル応答行列Hの共役転置行列であり、

$K^*$ は、干渉分散行列であり、

Uは、単位行列であり、その各行は、 $H^*(K^*)H$ の固有ベクトルであり、

$\Lambda$ は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N)$ として定義される対角行列であり、

$\lambda^1, \dots, \lambda^N$ は、 $H^*(K^*)H$ の各固有値であり、

Mは、前記独立の信号の数に対応する非ゼロ固有値の最大数であり、

$U^T$  は、行列  $U$  の共役転置行列であり、  
 $k$  は、1 から  $M$  までの整数の指数であり、  
 $p$  は、送信される電力であり、  
 $+$  は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、そのアーギュメントが正であるときアーギュメント自体に戻るオペレータであり、  
 $\lambda_i$  は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数であり、  
 $\text{diag}$  は、様々な  $\lambda_i$  が、行列  $\Phi$  の主対角線のエレメントとして配置されることを示し、  
 行列  $\Phi$  の各列は、 $\Phi = [z_1, \dots, z_N]$  により示される正規化された重みベクトルとして使用され、前記正規化された重みベクトルは、個別の正規化された重み  $z_i$ 、 $z_i = [z_{i1}, \dots, z_{iN}]$  からなり、 $i$  は1から  $N$  までの整数であることを特徴とする請求項1記載の送信機。

【請求項17】 前記送信機および受信機は時分割多重 (TDD) を使用して通信し、前記重みは、前記送信機に対して前記逆方向リンクの受信機により決定された順方向チャンネル応答の推定値を使用して前記送信機中で決定されることを特徴とする請求項1記載の送信機。

【請求項18】  $L$  個のアンテナと、  
 $L$  個のダウンコンバータと、  
 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対する干渉共分散行列の推定値を決定するためのエスティメータとを有することを特徴とするMIMOシステム中で使用するための受信機。

【請求項19】 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対するチャンネル応答の推定値を決定するためのエスティメータと、  
 前記逆方向チャンネルに対して、前記干渉共分散行列の推定値およびチャンネル応答の推定値を受信機に送信するための逆方向チャンネルのための送信機とを有することを特徴とするMIMOシステム中で使用するための送信機。

【請求項20】 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対する干渉共分散行列の推定値を決定するためのエスティメータと、  
 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対するチャンネル応答の推定値を決定するためのエスティメータと、  
 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対する干渉共分散行列の前記推定値および前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対するチャンネル応答の前記推定値の関数として、データストリームを前記前記受信機に送信するために、前記順方向チャンネルの送信機により使用するための重みを計算するための重み計算器とを有することを特徴とするMIMOシステム中で使用するための受信機。

【請求項21】 前記重みを前記逆方向チャンネルのための受信機へ送信するための逆方向チャンネルのための送信

機をさらに有することを特徴とする請求項20記載の受信機。

【請求項22】  $L$  個のアンテナと、  
 $L$  個のダウンコンバータと、  
 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対する干渉共分散行列の推定値を決定するためのエスティメータと、  
 前記受信機により受信されている順方向チャンネルに対するチャンネル応答の推定値を決定するためのエスティメータと、  
 データストリームを前記受信機に送信するための前記順方向チャンネルの送信機により使用するための重みを計算するための重み計算器とを有し、  
 前記重みは、  
 行列式  $H^T (K^T) H = U^T \Lambda^T U$  を解くステップと、  
 連立方程式

【数1】

$$\tilde{\lambda}^k = \left( \nu - \frac{1}{(\lambda^k)^2} \right)^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を  $\nu$  について解くことにより、前記固有値  $\lambda$  をウォーターフリリングするステップと、

$\Phi = U^T \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N) U$  の行列  $\Phi$  を定義するステップと、

その中の前記重みの各々は、

【数2】

$$\sqrt{\lambda^j} z_j$$

であり、 $j$  は1から  $N$  までの整数である非正規化された重みベクトル  $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iN}]$  を生成するステップとにより決定され、ここで、

$H$  は、チャンネル応答行列であり、

$H^T$  は、前記チャンネル応答行列  $H$  の共役転置行列であり、

$K^T$  は、干渉共分散行列であり、

$U$  は、単位行列であり、その各行は、 $H^T (K^T) H$  の固有ベクトルであり、

$\Lambda$  は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N)$  として定義される対角行列であり、

$\lambda^1, \dots, \lambda^N$  は、 $H^T (K^T) H$  の各固有値であり、

$M$  は、前記独立の信号の数に対応する非ゼロ固有値の最大数であり、

$U^T$  は、行列  $U$  の共役転置行列であり、

$k$  は、1から  $M$  までの整数の指数であり、

$p$  は、送信される電力であり、

$+$  は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、

そのアーギュメントが正であるときアーギュメント自体に戻るオペレータであり、

各 $\lambda_i$ は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数であり、

diagは、様々な $\lambda_i$ が、行列 $\Phi$ の主対角線のエレメントとして配置されることを示し、

行列 $\Phi$ の各列は、 $\Phi = [z_1, \dots, z_N]$ により示される正規化された重みベクトルとして使用され、前記正規化された重みベクトルは、個別の正規化された重み $z_i$ 、 $z_i = [z_{i1}, \dots, z_{iN}]$ からなり、 $i$ は1からNまでの整数であることを特徴とするMIMOシステム中で使用するための受信機。

【請求項23】 L個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャネルを介して送信するN個の送信アンテナを備えた送信機および前記受信機から前記送信機へ通信するための逆方向チャネルを有する通信システム中で信号を送信するための方法であって、前記L個の受信アンテナのうちの2つまたは3つ以上により受信される信号中に相関が存在する可能性があるものにおいて、前記信号を形成するステップの一部として、前記N個のアンテナを介して送信されるべきデータから得られたサブストリームに対する重みを決定するプロセスにより、前記N個の送信アンテナから前記L個の受信アンテナへ送信され得る独立の信号Mの数を決定するステップを有し、前記重みは、  
行列式 $H^H(K^H)H = U^H \Lambda^H U$ を解くステップと、  
連立方程式

【数1】

$$\tilde{\lambda}^k = \left( \nu - \frac{1}{(\lambda^k)^2} \right)^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を $\nu$ について解くことにより、前記固有値 $\lambda$ をウォーターフイリングするステップと、

$\Phi = U^H \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N) U$ の行列 $\Phi$ を定義するステップと、

その中の前記重みの各々は、

【数2】

$$\sqrt{\tilde{\lambda}^j} z_j$$

であり、 $j$ は1からNまでの整数である非正規化された重みベクトル $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iN}]$ を生成するステップとにより決定され、ここで、

$H$ は、チャネル応答行列であり、

$H^H$ は、前記チャネル応答行列 $H$ の共役転置行列であり、

$K^H$ は、干渉共分散行列であり、

$U$ は、単位行列であり、その各行は、 $H^H(K^H)H$ の固有ベクトルであり、

$\Lambda$ は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^N)$ として定義される対角行列であり、

$\lambda^1, \dots, \lambda^N$ は、 $H^H(K^H)H$ の各固有値であり、

$M$ は、前記独立の信号の数に対応する非ゼロ固有値の最大数であり、

$U^H$ は、行列 $U$ の共役転置行列であり、

$k$ は、1からMまでの整数の指数であり、

$p$ は、送信される電力であり、

$+$ は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、そのアーギュメントが正であるときアーギュメント自体に戻るオペレータであり、

各 $\lambda_i$ は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数であり、

diagは、様々な $\lambda_i$ が、行列 $\Phi$ の主対角線のエレメントとして配置されることを示し、

行列 $\Phi$ の各列は、 $\Phi = [z_1, \dots, z_N]$ により示される正規化された重みベクトルとして使用され、前記正規化された重みベクトルは、個別の正規化された重み $z_i$ 、 $z_i = [z_{i1}, \dots, z_{iN}]$ からなり、 $i$ は1からNまでの整数であることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ワイヤレス通信に係り、特に、送信機において複数のアンテナを使用しかつ受信機において複数のアンテナを使用するワイヤレス通信システム、いわゆるマルチプルインプット・マルチプルアウトプット(MIMO)システムに関する。

【0002】

【従来の技術】マルチプルインプット・マルチプルアウトプット(MIMO)システムは、シングルアンテナ、即ちシングルアンテナ対シングルアンテナまたはマルチプルアンテナ対シングルアンテナのシステムに比べて劇的に容量を増大させることができることがこの技術分野においてよく知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、この改良のために、マルチプル受信アンテナに到達する様々な信号が主に相関性がないようなリッチスキャタリング環境があることが好ましい。これらの信号がある程度の相関を有する場合、そしてそのような相関が無視される場合、パフォーマンスが低下しかつ容量が減少する。

【0004】

【課題を解決するための手段】我々は、いくらかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャネルで達成される最高の性能および容量を得るように、MIMOシステムにおいて信号を生成する方法を発明した。本発明の原理によれば、様々なアンテナから送信される信号は、受信された信号からそれらを抽出する受信機の能力を改

善するように処理される。より具体的には、同時に送信されるビットストリームの数が、相関のレベルに依存して、調節され、例えば低減され、様々に重み付けされた各ビットストリームの複数のバージョンが同時に送信される。様々に重み付けされたバージョンは、結合されて、各アンテナについての1つの結合された重み付け信号、いわゆる「送信ベクトル(transmit vector)」を生成する。受信機は、受信アンテナに到達する全ての信号が相関がないようにされたと同じように受信された信号を処理する。

【0005】本発明の実施形態において、重みベクトル(weight vector)は、逆方向リンクの送信機により順方向リンクの受信機から送信されることにより、順方向リンクの送信機に知らせた順方向リンクのチャネル特性を使用して、順方向チャネル送信機により決定される。本発明の別の実施形態において、重みベクトルは、順方向リンクのチャネル特性を使用して順方向チャネル受信機により決定され、決定された重みベクトルは、逆方向リンクの送信機により順方向リンクの受信機から送信されることにより、順方向リンクの送信機に知らされる。

【0006】重みベクトルを決定するために使用されるチャネル特性は、送信機から受信機へのチャネル応答および受信機において測定された雑音および干渉の共分散行列(covariance matrix)を含み得る。

【0007】

【発明の実施の形態】機能ブロック「プロセッサ」を含む図面に示された様々なエレメントの機能は、専用ハードウェア並びに適切なソフトウェアとの関連でソフトウェアを実行することができるハードウェアを含む。プロセッサにより提供される場合、機能は、単一の専用プロセッサにより、単一の共用プロセッサにより、またはそのうちのいくつかが共用されうる複数の個々のプロセッサにより提供され得る。

【0008】また、「プロセッサ」または「コントローラ」の用語の明示的な使用は、ソフトウェアを実行することができるハードウェアのみを排他的に指すものと解釈されるべきではなく、これに限定されるものでないが、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)ハードウェア、ソフトウェアを記憶するためのリードオンリメモリ(ROM)、ランダムアクセスメモリ(RAM)および不揮発性記憶装置を暗示的に含み得る。

【0009】従来のおよび/またはカスタムの他のハードウェアも、含まれ得る。同様に、図面に示されたスイッチは、単に概念的なものである。それらの機能は、プログラムロジックの動作により、専用ロジックによりプログラムコントロールの相互作用により、および専用ロジックにより、または指導により実行されることができ、設計者により特定の技法が選択可能である。

【0010】図1は、順方向チャネル上をL個の受信アンテナを有する受信機へ送信するN個の送信アンテナを

備えた送信機および受信機から送信機への通信のための逆方向チャネルを有するMIMOシステムにおいて送信するための信号を生成するための送信機の例示的な一部を示し、いくらかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャネルで達成され得る最高の性能および容量が、本発明の原理により得られるようになっている。

【0011】図1において、a) デマルチプレクサ(de-mux)101、b) アンテナ信号ディベロッパ103-1ないし103-Nを含むアンテナ信号ディベロッパ103、c) 重み供給器105、d) アンテナ107-1ないし107-Nを含むN個のアンテナ107、e) 115-1ないし115-Nを含むデジタル/アナログコンバータ(DAC)115、およびf) アップコンバータ117-1ないし117-Nを含むアンプコンバータ117が示されている。

【0012】デマルチプレクサ101は、入力としてデータストリームをとり、入力データストリームから様々なビットをデータサブストリームの各々に供給することにより、出力データサブストリームとして供給する。1つのデータストリームが、デマルチプレクサ101により、N個の出力のうちの1つに供給され得る。しかし、送信され得る相関のない信号の数が減少させられる場合、同時に送信されるビットストリームの数は、送信され得る相関のない信号の数に一致するように減少させられる。そのような場合において、使用される特定の出力は、設計者の最良による。例えば、第1のY出力のみが使用される。ここで、Yは送信され得る相関のない信号の数である。

【0013】各データサブストリームは、アンテナ信号ディベロッパ103のうちの対応する1つに供給される。アンテナ信号ディベロッパ103のうちの各々は、重みブロック109-1ないし109-Nのうちの1つおよび加算器111-1ないし111-Nのうちの1つを含む。アンテナ信号ディベロッパ103のうちの各々において、データサブストリームが、重みブロック109のうちの1つの中の乗算器113の各々に供給される。

【0014】重み供給器105は、乗算器113の各々に重み値を供給する。本発明の一実施形態において、重み供給器105は、図示しない受信機から逆方向チャネルを介して受信された情報にตอบสนองして、重み値を実際に生成する。本発明の別の実施形態において、重み値は、受信機において生成され、そして、逆方向チャネルを介して送信機に供給され、必要とされる時点まで、重み供給器105に格納される。本発明の一側面に従って重みを生成するためのプロセスを、以下に説明する。

【0015】乗算器113の各々は、それが受信するサブストリームをそれが受信する重みと乗算する。得られる積は、加算器111のうちのそれぞれ1つに供給される。特に、各重みブロック109のR番目の乗算器によ



り供給される積は、加算器 111 の R 番目のものに供給される。ここで、R は 1 ないし N である。サブストリームを供給されない乗算器に対して、それらの出力は、設計者により望まれるいずれかの技法により、ゼロになるよう保証される。

【0016】加算器 111 の各々は、それに入力される信号を加算し、得られる和を、DAC 115 のうちのその関連するそれぞれ 1 つに出力として供給する。DAC 115 の各々は、加算器 111 のうちの 1 つからそれが受信するデジタル信号を取り、それをアナログベースバンド信号に変換する。DAC 115 の各々により生成されるアナログベースバンド信号は、アップコンバータ 117 のうちのそれぞれ 1 つに供給され、アップコンバータ 117 は、ベースバンドアナログ信号を無線周波数信号にアップコンバートする。アップコンバータ 117 により作られる無線周波数信号は、受信機へボードキャストのために、アンテナ 107 のそれぞれ 1 つに供給される。

【0017】図 2 は、本発明の原理に従って構成された MIMO システムのための受信機の例示的な一部を示す。図 2 は、a) アンテナ 201-1 ないし 201-L を含む L 個のアンテナ 201、b) ダウンコンバータ 203-1 ないし 203-L を含むダウンコンバータ 203、c) アナログ/デジタルコンバータ 205-1 ないし 205-L を含むアナログ/デジタルコンバータ (ADC) 205、d) 推定干渉分散行列およびチャネル応答ユニット 207、e) 任意的な重み計算器 209、および f) 任意的なスイッチ 211 を示す。

【0018】アンテナ 201 の各々は、無線信号を受信し、ダウンコンバータ 203 のそのそれぞれの関連する 1 つへその電氣的バージョンを供給する。ダウンコンバータ 203 の各々は、それが受信する信号をベースバンドにダウンコンバートし、得られるベースバンド信号を、ADC 205 のその関連する 1 つへ供給する。ADC 205 の各々は、それが受信したベースバンドアナログ信号を、デジタル表現に変換し、このデジタル表現を、推定干渉分散行列およびチャネル応答ユニット 207 に供給する。

【0019】推定干渉分散行列およびチャネル応答ユニット 207 は、通常の方法で、干渉分散行列の推定値および順方向行列チャネル応答の推定値を生成する。行列は、複数の送信アンテナおよび複数の受信アンテナが存在するために必要とされる。

【0020】干渉分散行列の推定値および順方向行列チャネル応答の推定値は、任意的な重み計算器 209 に供給されるか、または逆方向チャネルを介して送信機に供給される (図 1)。干渉分散行列の推定値および順方向行列チャネル応答の推定値が重み計算器 209 に供給される場合、重み計算器は、本発明の一側面に従ってかつ以下に説明するように、使用されるべき重み値を決

定し、得られた重み値を、逆方向チャネルを介して送信機 (図 1) に供給する。

【0021】図 3 は、本発明の原理に従って、いくらかの相關にもかかわらずそのレベルの相關のチャネルで達成され得る最高の性能および容量が得られるように、L 個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャネルを介して送信する N 個の送信アンテナを備えた送信機および受信機から送信機へ通信するための逆方向チャネルを有する MIMO システムにおいて送信するための信号を生成するための例示のプロセスを、フローチャートの形式で示す。

【0022】図 3 のプロセスは、図 1 および 2 のハードウェアを使用する本発明の実施形態において使用され得る。ここで、交換器 211 は、推定干渉分散行列およびチャネル応答ユニット 207 に接続されており、通信プロトコルは以下のものである。第 1 に、チャネル特性が安定である間の時間の長さを決定することが必要である。

【0023】これは、典型的には、当業者によりよく知られているように、システムが使用されるべき環境の測定を使用して、システムを開発するシステムエンジニアリング段階において実行される。チャネル特性が安定である時間の長さが知られていると、時間はフレームとして考えられ、フレームはタイムスロットに分割される。各フレームは、1 つまたは 2 つ以上のタイムスロットを占める可能性があるプリアンブルを有する。フレーム、したがってタイムスロットは、現実には反復する。

【0024】図 3 のプロセスは、各フレームの始まりにおいて、ステップ 301 において開始される。次に、ステップ 303 において、受信機における干渉分散行列  $K^i$  およびチャネル応答  $H$  が、例えば干渉分散行列およびチャネル応答ユニット 207 (図 2) のような順方向リンクの受信機中で決定される。その後、ステップ 305 において (図 3)、干渉分散行列  $K^i$  およびチャネル応答行列  $H$  が、例えば逆方向チャネルを介して順方向リンクの送信機へ、順方向リンクの受信により供給される。

【0025】ステップ 307 において、例えば重み供給器 105 (図 1) により、重み  $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iN}]$  が計算される。ここで、 $i$  は、1 から N までの整数である。具体的には、重みは以下のように計算される。最初に、行列式  $H^i (K^i) H = U^i \Lambda^i U^i$  が解かれる。ここで、

- a)  $H$  はチャネル応答行列、
- b)  $H^i$  は、チャネル応答行列  $H$  の共役転置行列であり、 $\dagger$  は共役転置行列のためのよく知られたシンボルである。

- 【0026】c)  $K^i$  は、干渉分散行列、
- d)  $U$  は単位行列、その各列は、 $H^i (K^i) H$  の固有ベクトルである。

e)  $\Lambda$ は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^M)$ として定義される対角行列であり、 $\lambda^1, \dots, \lambda^M$ は、 $H^*(K^M)H$ の各固有値であり、 $M$ は、非ゼロ固有値の最大数であり、実際に使用され得るサブストリームの数に対応する。

f)  $U^*$ は、行列 $U$ の共役転置行列である。

【0027】そして、よく知られたいわゆる「ウォーターフィリング (waterfilling)」が、 $v$ に対して連立方程式 $\tilde{\lambda}^k = (v - 1/(\lambda^k)^2)^+$ および

【数1】

$$\tilde{\lambda}^k = (v - \frac{1}{(\lambda^k)^2})^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を解くことにより、固有値 $\lambda$ について実行される。ここで、 $k$ は、1から $M$ までの整数の指数、 $P$ は、送信される電力、 $+$ は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、そのアーギュメントが正であるときアーギュメント自体に戻るオペレータであり、各 $\tilde{\lambda}^k$ は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数である。

【0028】新しい行列 $\Phi$ は、 $\Phi = U^* \text{diag}$

$(\lambda^1, \dots, \lambda^M)U$ として定義され、 $\text{diag}$ は、他

の全てのエントリがゼロである行列の主対角のエレメントとして様々な $\lambda$ が配置されることを示す。行列 $\Phi$ の各列は、単位電力に基づいて、 $\Phi = [z_1, \dots, z_M]$ により示される正規化された重みベクトルとして使用され、重みベクトルは、個別の重み $z$ 、 $z_i =$

$[z_{1i}, \dots, z_{Ni}]$ からなる。そして、重みベクトル

$w_i = [w_{1i}, \dots, w_{Ni}]$ は、重みベクトルに割り当てられるべき電力に基づいて、非正規化することにより決定される。その中の様々な重みは、

【数2】

$$\sqrt{\tilde{\lambda}^j} z_j$$

であり、 $j$ は1から $N$ までの整数である。

【0029】ステップ309において、入力データストリーム $S(t)$  (図1)は、例えばデマルチプレクサ101により、 $N$ 個のサブストリーム $S_1, \dots, S_M$ に分割される。データストリームの各々は、ステップ311において (図3)、重みベクトル $w_{1i}, \dots, w_{Ni}$ のそれぞれ1つで乗算される。換言すれば、各特定のデータストリームの各ビットは、そのそれぞれの重みベクトル中の重みの各々と乗算されて、各データストリームに対する $N$ 個の重み付けビットを生成する。

【0030】ステップ313において、サブストリームの各々に対する重み付けビットは、各アンテナ加算器、例えば、加算器111により結合される。これに関し

て、第1の重みから各サブストリームに対して生成された重み付けビットは、第1のアンテナの加算器において加算され、第2の重みから各サブストリームに対して生成された重み付けビットは、第2のアンテナの加算器において加算される。図1に示すように以下同様である。以上から明らかであるように、 $M$ よりも大きな数のどのサブストリームもゼロとなる。これは、 $M$ が、実際に使用され得るサブストリームの数に対応するからである。そのようなゼロサブストリームは、加算器111により生成される和に寄与しない。そして、プロセスが、ステップ315において終了する。

【0031】図4は、本発明の原理に従って、いくらかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャネルで達成され得る最高の性能および容量が得られるように、 $L$ 個の受信機アンテナを有する受信機へ順方向チャネルを介して送信する $N$ 個の送信アンテナを備えた送信機および受信機から送信機へ通信するための逆方向チャネルを有するMIMOシステムにおいて送信するための信号を生成するための別の例示のプロセスを、フローチャートの形式で示す。

【0032】図4のプロセスは、図1および2のハードウェアを使用する本発明の実施形態において使用され得る。ここで、交換器211は、重み計算器209に接続されており、通信プロトコルは、図3との関係で説明される。図4のプロセスに対して、図1の重み供給器105は、様々な重みを演算しないが、重み計算器209から受信された重みを単に記憶し、必要な場合、乗算器113のうちの様々なものにそれらを供給する。

【0033】図4のプロセスは、各フレームの始まりにおいて、ステップ401において開始される。次に、ステップ403において、受信機における干渉共分散行列 $K^M$ およびチャネル応答 $H$ が、例えば干渉共分散行列およびチャネル応答ユニット207 (図2)のような順方向リンクの受信機中で決定される。ステップ405において、例えば重み供給器105 (図1)により、重み $w_i = [w_{1i}, \dots, w_{Ni}]$ が計算される。具体的には、重みは以下のように計算される。

【0034】最初に、行列式 $H^*(K^M)H = U^* \Lambda^* U$ が解かれる。ここで、

a)  $H$ はチャネル応答行列、

b)  $H^*$ は、チャネル応答行列 $H$ の共役転置行列であり、 $+$ は共役転置行列のためのよく知られたシンボルである。

c)  $K^M$ は、干渉共分散行列、

d)  $U$ は単位行列、その各列は、 $H^*(K^M)H$ の固有ベクトルである。

e)  $\Lambda$ は、 $\Lambda = \text{diag}(\lambda^1, \dots, \lambda^M)$ として定義される対角行列であり、 $\lambda^1, \dots, \lambda^M$ は、 $H^*(K^M)H$ の各固有値であり、 $M$ は、非ゼロ固有値の最大数であり、実際に使用され得るサブストリームの数に対応す

る。

f)  $U'$  は、行列  $U$  の共役転置行列である。

【0035】そして、よく知られたいわゆる「ウォーターフィリング (waterfilling)」が、 $v$  に対して連立方程式

【数1】

$$\tilde{\lambda}^k = \left( v - \frac{1}{(\lambda^k)^2} \right)^+$$

および

$$\sum_k \tilde{\lambda}^k = P$$

を解くことにより、固有値  $\lambda$  について実行される。ここで、 $k$  は、1 から  $M$  までの整数の指数、 $P$  は、送信される電力、 $+$  は、そのアーギュメントが負であるときゼロに戻り、そのアーギュメントが正であるとき、アーギュメント自体に戻るオペレータであり、各  $\tilde{\lambda}^k$  は、各重みベクトルに対する電力を表す中間変数である。

【0036】新しい行列  $\Phi$  は、 $\Phi = U' \text{diag}$

$(\lambda^1, \dots, \lambda^M) U$  として定義され、 $\text{diag}$

は、他の全てのエントリがゼロである行列の主対角のエレメントとして様々な  $\lambda^k$  が配置されることを示す。

行列  $\Phi$  の各列は、単位電力に基づいて、 $\Phi = [z_1, \dots, z_M]$  により示される正規化された重みベクトルとして使用され、重みベクトルは、個別の重み  $z_i$ 、 $z_i = [z_{i1}, \dots, z_{iM}]$  からなる。そして、重みベクトル  $w_i = [w_{i1}, \dots, w_{iM}]$  は、重みベクトルに割り当てられるべき電力に基づいて、非正規化することにより決定される。その中の様々な重みは、

【数2】

$$\sqrt{\tilde{\lambda}^j} z_{ij}$$

であり、 $j$  は1から  $N$  までの整数である。

【0037】その後、ステップ407において、決定された重み値が、例えば逆方向チャンネルを介して、順方向リンクの受信機により、順方向リンクの送信機へ供給される。重みは、重み供給器105 (図1) 中に記憶される。

【0038】ステップ409 (図4) において、入力データストリーム  $S(t)$  (図1) は、例えばデマルチプレクサ101により、 $N$  個のサブストリーム  $S_1, \dots, S_N$  に分割される。データストリームの各々は、ステップ411において (図4)、重みベクトル  $w_{i1}, \dots, w_{iM}$  のそれぞれ1つで乗算される。ここで、 $i$  は、1から  $N$  までの整数である。換言すれば、各特定のデータストリームの各ビットは、そのそれぞれの重みベクトル中の重みの各々と乗算されて、各データストリームに対する  $N$  個の重み付けビットを生成する。

【0039】ステップ413において、サブストリーム

の各々に対する重み付けビットは、各アンテナ加算器、例えば、加算器111により結合される。これに関して、第1の重みから各サブストリームに対して生成された重み付けビットは、第1のアンテナの加算器において加算され、第2の重みから各サブストリームに対して生成された重み付けビットは、第2のアンテナの加算器において加算される。図1に示すように以下同様である。以上から明らかであるように、 $M$  よりも大きな数のどのサブストリームもゼロとなる。これは、 $M$  が、実際に使用され得るサブストリームの数に対応するからである。そのようなゼロサブストリームは、加算器111により生成される和に寄与しない。そして、プロセスが、ステップ415において終了する。

【0040】単一のチャンネルを順方向チャンネルおよび逆方向チャンネルの両方に対して共用するいわゆる「時分割二重」(TDD) システムと共に使用するための本発明の別の実施形態において、チャンネル応答の推定は、ワイヤレスリンクの一方の端部において実行され得る。これは、同じ周波数チャンネルを順方向チャンネルおよび逆方向チャンネルが共用し、いずれかの一時点において交互にそのチャンネルを使用し、順方向チャンネルと逆方向チャンネルとの間の時間スプリットが小さい場合、順方向チャンネルおよび逆方向チャンネルに対するチャンネル応答が同じになるからである。

【0041】したがって、逆方向チャンネルの受信機が、順方向チャンネルの受信機と同じチャンネル応答となり、逆方向リンクの受信機は、順方向リンクの受信機により以前に実行された全てのチャンネル推定を実行することができる。同様に、順方向チャンネルの受信機は逆方向チャンネルの受信機と同じチャンネル応答となり、順方向リンクの受信機は、逆方向リンクの受信機により以前に実行された全てのチャンネル推定を実行することができる。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、MIMOシステムにおいて、様々なアンテナから送信される信号を、いくつかの相関にも関わらず、受信された信号からそれらを抽出する受信機の能力を改善するように処理することを可能にする方法および装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理に従って、いくつかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャンネルで達成され得る最高の性能および容量が得られるように、MIMOシステムにおいて送信するための信号を生成するための送信機の例示的な部分を示す図。

【図2】本発明の原理に従って構成されたMIMOシステムのための受信機の例示的な部分を示す図。

【図3】本発明の原理に従って、いくつかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャンネルで達成され得る最高の性能および容量が得られるように、MIMOシステ

ムにおいて送信するための信号を生成するための例示的なプロセスをフローチャートの形式で示す図。

【図4】本発明の原理に従って、いくらかの相関にも関わらず、そのレベルの相関のチャンネルで達成され得る最高の性能および容量が得られるように、MIMOシステムにおいて送信するための信号を生成するための別の例示的なプロセスをフローチャートの形式で示す図。

【符号の説明】

101 デマルチプレクサ

105 重み供給器 逆方向から

117-1, 117-N アップコンバータ

103-1, 103-N アンテナ信号ディベロッパ

107 アンテナ

201 アンテナ

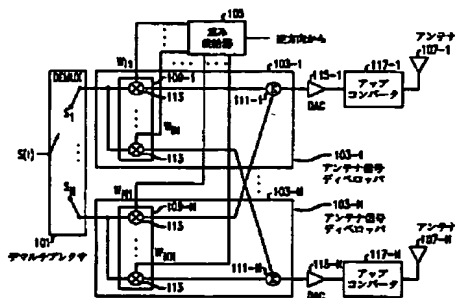
203 ダウンコンバータ

207 推定干渉共分散行列およびチャンネル応答ユニット

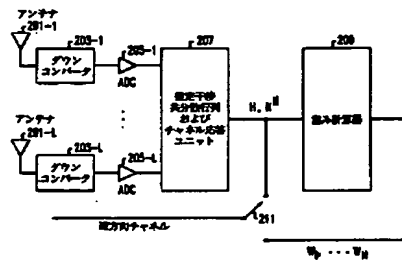
209 重み計算器

211 逆方向チャンネル

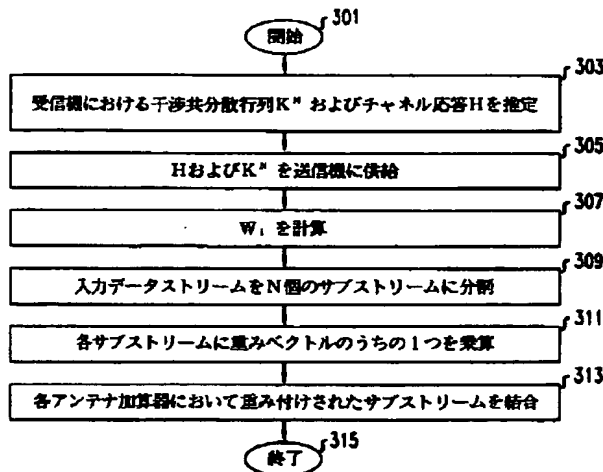
【図1】



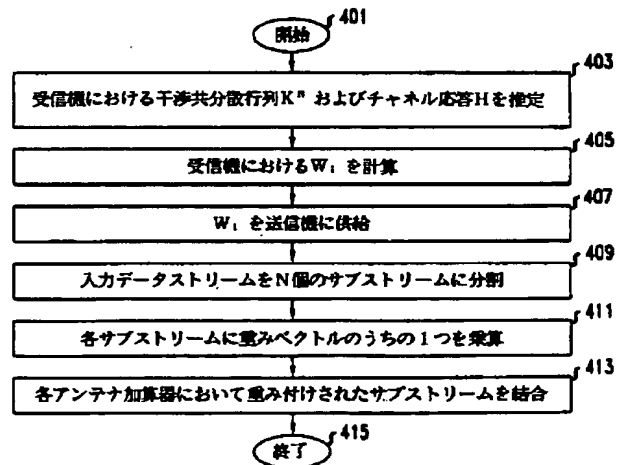
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H04J 3/00

識別記号

F I

H04J 3/00

テーマコード(参考)

H

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Jersey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 ジェラルド ジョセフ フォスチーニ  
アメリカ合衆国、08879 ニュージャージー  
ー、ニュージャージー、セイアービル、オ  
ーチャード ストリート 79

(72)発明者 エンジェル ロザノ

アメリカ合衆国、10006 ニューヨーク、  
ニューヨーク、ウェストストリート 21、  
アパートメント 4-G

(72)発明者 ファロク ラシドーファロク  
アメリカ合衆国、94539 カリフォルニア、  
フレモント、ビー、オー、ボックス  
14392

(72)発明者 レイナルド エー、バレンズエラ  
アメリカ合衆国、07733 ニュージャージー  
ー、ホルムデル、パトリッジ ラン 17